第39卷 第3期 昆 虫 学 报 Vol.39, No.3
1996年 8 月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA Aug., 1996

不同类型棉田捕食性天敌的种群能量动态及其对害虫的控制作用*

戈 峰 丁岩钦

(中国科学院动物研究所 北京 100080)

摘要 为充分发挥棉田捕食性天敌的生态调控作用，本文根据田间调查与室内测定的结果，以能量为统一单位，计算出了棉田捕食性瓢虫、蜻类、蜘蛛及所有捕食性天敌类种群的能流参数值，分析和比较了不同播种期、套间作和免耕法对棉田捕食性天敌种群能量获取与利用的作用特点，总结出了各类天敌在不同类型棉田对害虫的控制作用规律，评价了它们在棉田生态系统中的作用与地位。

关键词 捕食性天敌，种群能量动态，捕食作用

捕食者依靠捕食猎物而获取能量。其摄入的能量即为猎物的被捕食消耗量。因此，研究捕食者种群的能量动态，不但可阐明捕食者对猎物的能量获取与利用特点，而且可分析和比较各种因素对捕食作用的影响，客观地评价捕食者对猎物的控制作用。华北棉区捕食性天敌的种类与数量丰富，在棉田生态系统中起着重要的调控作用[1]。有关它们的生物学特性、种群密度动态和对害虫的捕食功能已有大量研究[2~4]，而对其种群能量动态，在不同类型棉田的作用规律与作用评价尚未见报道。

本文根据田间调查与室内测定的结果，研究了8种不同类型棉田捕食性瓢虫、蜻类、蜘蛛、草蛉、螳螂、食蚜蝇等所有节肢动物捕食性天敌类种群能量获取与利用的特点，探讨了不同播种期、套间作、免耕对棉田捕食性天敌的作用规律，以期客观地评价它们在棉田生态系统中的作用与地位，为充分发挥它们对害虫的生态调控作用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田选择与处理

1991～1992年在河北省饶阳县选择以下8种不同类型的棉田：春季(4月27日)播种的单作棉田(简称为春播棉田)，春季播种与小麦套种的棉田(春套棉田)及其田块四周的棉株(春套棉边)，春季播种与绿豆间作的棉田(豆间棉田)，春季播种的单作免耕种植的棉田(免耕棉田)，春夏之交(5月15日)播种的单作棉田(迟播棉田)，夏季(5月30日)

* 国家自然科学基金资助项目内容之一

1994-05-06收稿，1995-03-07收修改稿

播种与小麦套种的棉田(夏套棉田)、麦后(6月15日)播种的单作棉田(夏播棉田)。每类型田重复2次，面积均不少于0.0667 hm^2。各类型棉田全年均不施药防治。

1.2　田间系统调查

自6月上旬开始，每5d一次，5点取样，每点1 m^2（相当于6株棉花），系统调查各棉田所有害虫、捕食性天敌的种群密度。对主要害虫、捕食性天敌进行分龄记载。

1.3　室内测定与分析

1.3.1　生物量与热值：将田间采回的棉田主要害虫、捕食性天敌杀死、烘干、称重；在日产岛津燃研式弹式自动热量计上测定热值。

1.3.2　种群能流参数：

呼吸量　$$R=\sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{W_{i,k-1}+W_{i,k}}{2}\right)\cdot R_i\cdot a\cdot b\cdot f(T_k)\cdot D_k$$

生产量　$$P=\sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{W_{i,k-1}+W_{i,k}}{2}\right)\cdot R_i\cdot\left(\frac{1-\alpha_i}{\alpha_i}\right)\cdot a\cdot b\cdot f(T_k)\cdot D_k$$

摄入量　$$I=\sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{W_{i,k-1}+W_{i,k}}{2}\right)\cdot R_i\cdot\left(\frac{1}{\alpha_i\beta_i}\right)\cdot a\cdot b\cdot f(T_k)\cdot D_k$$

同化量　$$A=P+R$$

式中，m, n分别为棉田捕食性天敌的调查次数与种类数；$W_{i,k-1}$; $W_{i,k}$分别为第i种捕食性天敌第$k-1$次和第k次调查时的生物量(mg)；R_i、α_i、β_i分别为第i种捕食性天敌的呼吸代谢速率(ml/(mg·d))、净生态学效率$\left(\frac{P}{P+R}\right)$和同化率($A/I$)，其部分数据由作者测定，部分数据引自于有关参考文献；a为氧卡系数(J/mL)；b为田间呼吸耗氧量修正系数，取$b=2.58$; $f(T_k)$为第k次调查时温度的变化所引起的作用函数，通常以温度系数$Q_{10}=2$来校正；D_k为从第$k-1$次到第k次调查时的时间间隔(d)。

1.4　捕食利用效率

$$捕食利用效率=\frac{捕食性天敌的摄入量(I)}{害虫生产力(P)}$$

害虫生产力P的估计公式同捕食性天敌生产力(P)的估计一致。

2　结果分析

2.1　捕食性瓢虫类

2.1.1　种群能流量的季节性变化：华北棉田瓢虫类主要由龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*)、七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*)、异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)、黑襟毛瓢虫(*Scymnus hoffmanni*)和深点食螨瓢虫(*Stethorus punctillum*)组成，其中龟纹瓢虫为优势

种。该类种群的能流量(即同化量)在春播棉田中的季节性变化如图1所示。从该图可看出，瓢虫类种群能流量在6月中下旬有一个高峰，之后下降。自7月下旬后一直很高，直至9月份后才逐渐下降。统计结果表明，华北棉田瓢虫类种群能流量主要集中于7～8月，占总能流量的76.57%；其次为6月份，占总的20.15%；9月份仅占总的3.2%。这种分布与棉蚜种群能流量的变化基本一致。*F*测验它们两者的相关性呈极其显著($P<0.005$)。

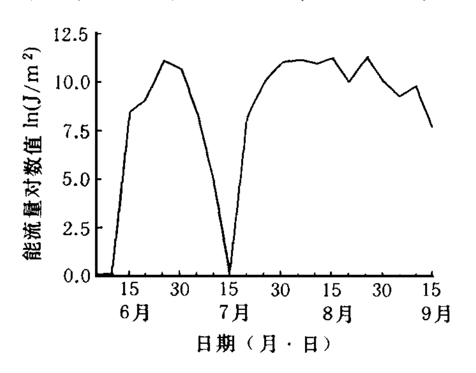


图1 春播棉田捕食性瓢虫类能流量的季节性变化

进一步研究还表明，棉田播种期的推后，间套作和免耕将降低棉田捕食性瓢虫的能流量值，而对其能流量的季节性变化形式无影响。

2.1.2 种群能量动态：经过测定与计算，得出了表1中的各种不同类型棉田捕食性瓢虫种群能流参数值。

表1 各类型棉田瓢虫类种群能流参数值 (kJ /(m² · a))

类型田	生产量(*P*)	呼吸量(*R*)	同化量(*A*)	摄入量(*I*)	对棉蚜捕食利用效率(%)
春播棉田	21.46	33.56	55.02	60.42	12.85
迟播棉田	18.62	29.11	47.73	52.38	9.28
夏播棉田	15.62	24.50	40.12	44.11	5.68
春套棉田	22.31	34.86	57.17	62.75	7.68
春套棉边	16.78	26.21	42.99	47.19	5.26
夏套棉田	24.81	38.76	63.57	70.04	12.06
豆间棉田	9.45	14.69	24.44	26.45	5.07
免耕棉田	19.20	30.00	49.20	54.01	8.98
平 均 值	18.53	28.96	47.49	52.17	8.36

由表1可知，各类型棉田瓢虫种群的能量动态具有如下的特征：(1) 各类型棉田瓢虫种群每m²年生产量为9.45～24.81 KJ，同化量为24.44～63.57 KJ，摄入量为26.45～70.40KJ，折合取食棉蚜1.23～3.26 g，相当于取食4龄棉蚜0.506～1.34万个。对棉蚜的摄入利用效率为5.07%～12.85%，平均值为8.36%，说明它们对棉蚜种群有较大的抑制作用。(2) 播种期的推后，其种群能流参数值和对棉蚜的捕食利用效率均明显减少。(3) 套作棉田有利于瓢虫类种群能量的生产，且以夏套棉种群能流量增加幅度较大；但由于春套棉田棉蚜种群生产也增加，且增加幅度较大，故该田块瓢虫对棉蚜的捕食利用效率相对减少；夏套棉田的棉蚜种群增长幅度相对较小，因而它对棉蚜的摄食利用效率仍然很高。(4) 豆间作棉田和免耕棉田不利于瓢虫类种群的能量生产，其能流量参数值和对棉蚜的捕食利用效率均很低；春套棉边缘瓢虫种群的能流参数值和捕食利用效率也比其棉田中间的值要低。

2.2　捕食性蝽类

2.2.1　种群能流量的季节性变化特征：棉田捕食性蝽类主要包括小花蝽（*Triphleps minutus*）、大眼蝉长蝽(*Geocoris pallidipennis*)、华姬猎蝽(*Nabis sinoferus*)和窄姬猎蝽(*Nabis stenoferus*)等种类。该类天敌随着棉株生长发育进程的增加，其种群能流量在春播棉田呈波浪式增加。它在6月份的能流量很低，占总能流量的5.97%；7月份的能流量比6月份的略高，占总的14.27%；8月份的能流量最大，占总的61.40%；9月份的值相对较高，为总值的18.36 %。即捕食性蝽类对害虫的捕食作用主要发生在8月份。

*F*测验表明，捕食性蝽类种群能流量与棉铃虫种群的能流量相关极显著($P<0.01$)，与所有害虫种类能流量相关显著($P<0.05$)，与棉蚜种群能流量相关不显著($P>0.1$)。说明捕食性蝽类的能量生产紧密地依赖于棉铃虫种群的能量生产，也依赖于所有害虫类能量生产，而与棉蚜种群能量生产依赖性不大。

2.2.2　种群能量动态：表2列出了各类型棉田捕食性蝽类种群能流参数值，由该表可知：(1) 华北棉田捕食性蝽类种群每m^2每年的生产量为0.79～4.43 kJ，同化量为2.64～14.74 kJ，摄入量为3.30～18.43 kJ，相当于摄入害虫0.157～0.8776 g。由于捕食性蝽类是广食性天敌，其能量生产依赖于多种害虫。故以其摄入量对所有害虫的生产力进行比较，其摄入利用效率为0.22%～2.44%，平均值为0.87%，可见是很低的。(2) 播种期的推后，其种群能流量参数值和对害虫的摄入利用效率显著下降。迟播棉田和夏播棉田捕食性蝽类的生产量分别为春播棉田的24.02%和20.90%；捕食利用效率分别为春播棉田的25.00%和14.75%。(3) 套间作棉田(春套棉田、夏套棉田、豆间棉田)、免耕棉田和春套棉田边缘的捕食性蝽类种群的能流参数值和对害虫捕食利用效率均比春播棉田低，且尤以春套棉边下降幅度大。说明套间作及免耕不利于捕食性蝽类种群的能量生产。

表2　各类型棉田捕食性蝽类种群能流参数值 (kJ /($m^2\cdot a$))

类型田	生产量(*P*)	呼吸量(*R*)	同化量(*A*)	摄入量(*I*)	对所有害虫摄入利用效率(%)
春播棉田	4.43	10.31	14.74	18.43	2.44
迟播棉田	1.06	2.47	3.53	4.43	0.61
夏播棉田	0.93	2.15	3.08	3.86	0.36
春套棉田	2.33	5.41	7.73	9.67	0.67
春套棉边	0.79	1.85	2.64	3.30	0.22
夏套棉田	2.38	5.54	7.92	9.91	0.79
豆间棉田	1.50	3.48	4.98	6.23	0.55
免耕棉田	3.23	7.96	11.39	14.24	1.28
平 均 值	2.08	4.90	6.97	8.76	0.87

2.3　捕食性蜘蛛类

2.3.1　种群能流量的季节性变化特征：捕食性蜘蛛是棉田的重要捕食性天敌，它主要由微蛛(*Erigone* spp.)、球腹蛛(*Theridion* spp.)、园蛛(*Araneus* spp.)、管巢蛛(*Clubiona*

spp.)、蟹蛛(*Thomisus* spp.)和狼蛛(*Lycosa* spp.)组成。其中狼蛛和微蛛为优势种。从该类天敌在春播棉田的种群能流量的季节性变化来看，它在6月份有一个较高的峰值，该月能流量占全年的12.92%；7月份值较低，占全年的6.82%；8月份为全年最高值，占全年的54.61%；9月份也较高，为全年的25.65%。即棉田捕食性蜘蛛种群的能量生产主要集中在8～9月份。它是一类多食性天敌。*F*测验表明，其种群的能流量与棉铃虫种群能流量密切相关($P<0.005$)，也与棉蚜种群能流量、棉田所有害虫种类能流量相关($P<0.05$)。

2.3.2 种群能量动态：各类型棉田捕食性蜘蛛类种群能流参数值如表3所示，它们具有如下的特点。(1) 华北棉区棉田捕食性蜘蛛类种群每m^2每年的生产量为7.04～29.98 kJ，同化量为23.40～99.71 kJ，摄入量为26.01～110.81 kJ，对害虫的捕食利用效率为2.40%～9.86%，平均值为4.92%。这些值比捕食性蝽类要高，但比瓢虫类要低。(2) 随着播种期的推后，棉田捕食性蜘蛛类种群能流参数值和对害虫的捕食利用效率略有下降，迟播棉田和夏播棉田的捕食性蜘蛛类种群生产量分别为春播棉田的92.77%和71.69%，对害虫的捕食利用效率分别为春播棉田的97.91%和50.10%。(3) 套间作有利于捕食性蜘蛛的种群能量生产，增加捕食性蜘蛛对害虫的控制能力。春套棉田、夏套棉田和豆间棉田的捕食性蜘蛛类种群生产力分别为春播棉田的3.04倍、1.06倍和3.50倍；其对害虫的捕食利用效率分别为春播棉田的1.58倍、0.634倍和2.06倍。(4) 免耕棉田捕食性蜘蛛种群能流量参数值比春播棉田略高，而捕食利用效率略低。春套棉田边缘的捕食性蜘蛛种群能流量参数值和对害虫的捕食利用效率均比其棉田中间的值低。

表3 各类型棉田捕食性蜘蛛类种群能流参数值 (kJ /($m^2 \cdot a$))

类型田	生产量(*P*)	呼吸量(*R*)	同化量(*A*)	摄入量(*I*)	对所有害虫摄入利用效率(%)
春播棉田	9.82	22.83	32.65	36.27	4.79
迟播棉田	9.11	21.18	30.29	33.66	4.69
夏播棉田	7.04	16.36	23.40	26.01	2.40
春套棉田	29.81	69.83	99.13	110.16	7.58
春套棉边	14.42	33.54	47.96	53.28	3.61
夏套棉田	10.38	24.14	35.52	38.35	3.04
豆间棉田	29.98	69.73	99.71	110.81	9.86
免耕棉田	10.20	23.73	33.93	37.71	3.41
平 均 值	15.10	35.17	50.27	55.78	4.92

2.4 捕食性天敌类种群能量动态

经过田间的细致调查与室内鉴定，初步查明华北棉田共有捕食性天敌30种，其中捕食性昆虫16种，隶属于5目8科；捕食性蜘蛛14种，隶属于2目8科。这些天敌类总和的种群能量动态参数值如表4所示。该表明：(1) 华北棉田所有捕食性天敌类种群每m^2每年生产量为22.98～52.98 kJ，同化量为76.41～176.18 kJ，摄入量为96.18～221.76 kJ，对所有害虫的捕食利用效率为8.09%～20.98%，平均值为13.59%。可见，捕

表4　各类型棉田捕食性天敌类种群能流参数值 (kJ /(m² · a))

类型田	生产量(*P*)	呼吸量(*R*)	同化量(*A*)	摄入量(*I*)	对所有害虫捕食利用效率(%)
春播棉田	43.45	81.11	124.57	158.80	20.98
迟播棉田	27.10	63.01	90.11	113.43	15.79
夏播棉田	22.98	3.43	76.41	96.18	8.87
春套棉田	52.98	123.20	176.78	221.76	15.25
春套棉边	28.55	66.39	94.94	119.50	8.09
夏套棉田	34.94	81.27	116.21	146.28	11.58
豆间棉田	44.63	102.78	148.41	186.81	16.88
免耕棉田	34.02	79.10	113.12	142.39	11.24
平 均 值	35.33	82.04	1176.37	148.39	13.59

食性天敌对害虫的抑制作用很大。(2) 播种期的推后，棉田捕食性天敌种群的能流参数值下降，它们对害虫的捕食利用效率也下降。(3) 实行棉麦套作和棉豆间作，可使棉田捕食性天敌能流参数值增加，但同时也使害虫类能流参数值增加，且其增加幅度比捕食性天敌类要大，因而这些田块的捕食利用效率下降。(4) 免耕棉田的捕食性天敌能流参数值和捕食利用效率比春播棉田的要低，春套棉边缘的值也比其棉田中间的值要低。

3　小结与讨论

3.1　棉田捕食性天敌的作用规律

根据上述研究，总结出了如下的棉田捕食性天敌种群能量动态及其对害虫的控制作用规律：(1) 随着播种期的推后，各类捕食性天敌的种群能流参数值和对害虫的捕食利用效率均下降。(2) 套作棉田有利于瓢虫和捕食性蜘蛛种群的能量生产，而不利于捕食性蝽类的能量生产；可使整个棉田的捕食性天敌能流参数值增加，使其对害虫的捕食利用效率下降。(3) 豆间棉田的捕食性蜘蛛能流参数值与捕食利用效率较高，而瓢虫和捕食性蝽类的值较低。其整个棉田的捕食性天敌能流参数值与捕食利用效率变化同套作棉田一致。(4) 春套棉田边缘的各类天敌能量生产不象害虫一样表现出边缘效应。与其棉田中间相比，其能流参数值与捕食利用效率均明显下降。(5) 实行免耕，可增加棉田捕食性蜘蛛的能量生产，而降低瓢虫和捕食性蝽类的能量生产，该棉田的所有捕食性天敌类种群的能流参数值与对害虫的捕食利用效率均下降。

3.2　捕食性天敌作用的评价

室内功能反应参数和田间生命表分析方法，是目前用来评价天敌作用的二种主要方法，前者方法简单，但与田间天敌的实际捕食作用有一定的差距。后者接近田间天敌实际捕食情况，但研究方法复杂，且费时费财。本文以能量为统一单位，将害虫、天敌田间种群密度、年龄结构、生存率及含能量综合成为种群能量动态，把捕食者的捕食获能功能与害虫的被捕食消耗量统一起来，一方面反映捕食者种群能流量的变化，另一方面又反映

了它对害虫的捕食利用效率，还可分析各种因素对它们的影响，集中了上述二种方法的优点，客观地反映了捕食性天敌在棉田中的作用与地位。

在棉田生态系统中，各类天敌种群的能量生产和对害虫的控制作用不同。在春播棉田，瓢虫类的摄入量最高，占总摄入量的38.05%，捕食性蛛蛛和蝽类分别为总摄入量的22.84%和11.61%，其它天敌类总和占总摄入量的27.5%，可见瓢虫类在春播棉田生态系统捕食性天敌亚系统中占主导地位。事实上，瓢虫类作为棉蚜的重要捕食性天敌，仅它就可利用棉蚜种群能量生产的12.85%。棉田所有捕食性天敌对害虫的捕食利用效率则为20.98%，即1／5的棉田害虫能量生产将被捕食性天敌所利用。说明捕食性天敌在棉田生态系统中起着非常重要的调控作用。

参 考 文 献

1 戈 峰，丁岩钦，马世骏. 棉田害虫生态调控的原理与方法. 全国首届新学说、新观点学术讨论会论文集，中国科学技术出版社，1993，214～217

2 丁岩钦等. 中华草蛉对棉铃虫和棉蚜的捕食作用研究. 生物防治通报，1986，2(3) 97～102

3 李 超，丁岩钦，马世骏. 草间小黑蛛对棉铃虫幼虫的捕食作用及其模拟模型的研究I. 捕食者一单种猎物系统的研究. 生态学报，1982，2(3)：239～253

4 崔素贞. 小花蝽生物学特性及其对主要棉虫控制作用的研究. 棉花病虫害综合防治及研究进展，中国农业出版社，1990，125～130

THE POPULATION ENERGY DYNAMICS OF PREDACIOUS NATURAL ENEMIES AND THEIR PEST CONTROL ACTIVITY IN DIFFERENT COTTON AGROECOSYSTEMS

Ge Feng　　Ding Yanqin

(*Institute of Zoology, Academia Sinica Beijing* 100080)

Abstract　To bring the pest control activity of predacious natural enemies into good play on cotton, a series of field investigations and indoor tests were carried out for getting their population dynamics along with the development of cotton in eight different cotton agroecosystems, and the energy currency parameters of the populations of predacious ladybirds, bugs, spiders and whole predators were calculated according to a unified energy unit. The characteristics of energy intake and exploitation of each predacious natural enemy population in different types of cotton fields with different sowing times, intercropping and tillage systems were analysed and compared with each other. The dynamic regularities of pest control activities and the functions and locations of different predacious natural enemies in different cotton agroecosystems were summarized and evaluated.

Key words　predacious natural enemies, population energy dynamics, predatory activity